

補助事業番号 27-128  
補助事業名 平成27年度 慣性センサーを用いた高齢者転倒予防システムの開発  
補助事業  
補助事業者名 慶應義塾大学 荻原直道

## 1 研究の概要

ヒトの二足歩行運動は、加齢とともに不安定になり、つまずきによる転倒リスクが高まることが知られている。転倒は骨折など深刻な外傷を引き起こし、高齢者の主要な「寝たきり」要因の一つとなっている。高齢者の転倒を予防するためには、日常生活における歩行中の状態を把握し、それに応じて介入する必要がある。このため本研究では、日常生活における歩行中の足部軌跡を慣性センサーによって推定するシステムを構築した。具体的には、足部と体幹に取り付けた慣性センサーから得られる角速度・加速度波形から歩行中の足部軌跡と歩行周期のバラツキを求めることを可能とした。このようなシステムは、日常生活での運動情報の中から、転倒の予兆を発見し、それをフィードバックすることで疾患予防を確立することに寄与すると考えられる。

## 2 研究の目的と背景

ヒトの二足歩行運動は、加齢とともに不安定になり、つまずきによる転倒リスクが高まることが知られている。転倒は、股関節の骨折など深刻な外傷を引き起こし、高齢者の主要な「寝たきり」要因の一つとなっている。また近年は、転倒による死亡者数が、交通事故によるそれを上回っていることも報告されている。したがって、日常生活における転倒の詳細なメカニズムを解明し、効果的な転倒予防策を考案することが、高齢者の寝たきり予防および医療費の削減が喫緊の課題である我が国にとって、急務となっている。

本研究では、身体に装着する慣性センサーから得られるデータに基づいて、歩行中の転倒の予兆を発見し、早期介入によりその予防を実現するシステムを開発することを目的とする。具体的には、足部と体幹に取り付けた慣性センサーから得られる角速度・加速度波形から歩行中の足部軌跡や歩行周期などの歩行パラメータを求めるシステムを構築する。日常生活下でモニタリングのため、センサーの出力データは無線通信で小型端末（携帯電話）に取り込まれるようにする。

これらデータを高齢者の日常生活下でモニタリングし、高齢者の日常生活における歩行パラメータの変動を明らかにすれば、高齢者の転倒リスクの定量化に大きく貢献することができる。また、転倒リスクを推定し、小型端末から現状の身体運動をフィードバックし、注意喚起を行う仕組みも構築することが可能となる。

### 3 研究内容

#### (1) 計測システムの製作・試作

本研究では、慣性センサーを用いてヒトの日常歩行時の足先軌跡をモニタリングするシステムを開発する。慣性センサーとは、各3軸の加速度、角速度、地磁気センサー（地磁気の方法を検出するセンサー）を搭載したセンサーである。本研究では、ATR Promotion製の慣性センサーTSND121を用いてシステムを構築することにした。このセンサーは約22gと軽量で、Bluetoothにより無線通信が可能である。このセンサーを足部背面に装着した。センサーから送られてくるデータは、現在はPCに取り込んでデータ処理を行っているが、Android携帯端末にて取り込むことも可能となっている。

#### (2) 解析プログラムの開発

歩行運動は、まず足が踵から地面に着地し（Heel Contact）、その後爪先が着地して足全体が接地（Foot Flat）、続いて踵・爪先の順に離地して（Heel Off & Toe Off）足は前方へ振り出され、再び着地する周期運動である。このとき足先に取り付けた加速度センサーの出力と歩行の各状態を対応づけると、加速度のピークはHeel Contact、加速度が一定となる時間はFoot Flat、その後の変化はHeel Off, Toe Offと対応する。このことを利用して、歩行時の各状態を検出するプログラムを開発した。

また、慣性センサーにより計測された信号に基づいて歩行時の足先軌跡を算出するプログラムを開発した。具体的には、Foot Flatから次のFoot Flatまでの足部の加速度を時間積分すれば、足部の軌跡を求めることができる。しかし、加速度センサーの出力は、時々刻々と姿勢が変化するセンサーに固定された座標系で記述されているため、時間積分を行うには一つの基準座標系に変換する必要がある。このため本研究では、各歩行周期のFoot Flat時のセンサーの姿勢を基準座標系と定め、角速度センサーの出力を積分することによりセンサーの姿勢変化を推定した。その結果を用いれば、加速度ベクトルを座標変換し、さらに重力加速度を取り除くことが可能となり、足部の並進加速度のみを抽出することができる。これを時間積分することで、足先軌跡を計算するプログラムを開発した。

また、連続する2つのFootFlat時に、重力方向に対する足部の姿勢を推定することができることを利用して、床面が水平でなくても足先軌跡を計算することができるようプログラムを改良した。

#### (3) 歩行実験によるシステム評価

慣性センサーにより算出された足先軌跡の精度を検証するために、成人男性10名に上述のシステムを装着し、歩行実験を行った。具体的には、足部に装着した慣性センサーの両側面に反射マーカを1つずつ貼付し、モーションキャプチャシステムMAC3D System (Motion Analysis Corporation, USA)を用いてセンサーに取り付けた反射マーカの運動を同時計測し、慣性センサーから求めた足先軌跡と比較した。

慣性センサーとモーションキャプチャにより求めた自由歩行中の足先軌跡と比較した結果、慣性センサーより求めた軌跡は、モーションキャプチャの軌跡とほぼ一致した。ストライド長の計測誤差は約20mm、フットクリアランスの計測誤差は約2mmであり、本計測システムに計測される足先軌跡の精度は、日常生活における歩行中の足先のクリアランスを評価する上で十分な精度を有していると考えられる。

また、不整地でも足先軌跡を推定できるようにアルゴリズムを改良した。新しいアルゴリズムにより算出された足先軌跡の精度を検証するために、成人男性1名に上述のシステムを装着し、木製の傾斜歩行路上で歩行実験を行った。具体的には、足部に装着した慣性センサーの両側面に反射マーカを1つずつ貼付し、モーションキャプチャシステムMAC3D Systemを用いてセンサーに取り付けた反射マーカの運動を同時計測し、慣性センサーから求めた足先軌跡と比較した。

慣性センサーとモーションキャプチャにより求めた自由歩行中の足先軌跡と比較した結果、慣性センサーより求めた軌跡は、モーションキャプチャの軌跡とほぼ一致した。すなわち、FootFlat時のセンサー出力から足部が水平面に対してどの程度傾いているかを検出し、計算されたストライド長と水平面と足部の傾きを利用して足部が接地する高さを推定することで、傾斜面においてもクリアランスを推定することが可能となった。ただし、推定精度は平地時のそれと比較すると若干悪化しており、足部傾斜角度推定の精度向上による更なる足軌跡推定精度の向上が今後の課題である。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本システムにより、高齢者の日常生活下でモニタリングし、高齢者の日常生活における歩行パラメータの変動を明らかにすることが可能となれば、高齢者の転倒リスクの定量化に大きく貢献することができる。また、転倒リスクを推定し、小型端末から現状の身体運動をフィードバックし、注意喚起を行うデバイスの開発にも大きく寄与する。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

過去20年にわたり、ヒトと動物の歩行運動の計測・分析を行ってきたが、慣性センサーを用いた歩行の計測は初めての試みであった。今回の研究は、研究の幅を広げる良い契機となった。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当なし

#### 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの  
学術論文

Estimation of foot trajectory during human walking by a wearable inertial measurement unit mounted to the foot

Naoki Kitagawa, Naomichi Ogihara

Gait & Posture, Volume 45, 110 - 114, 2016

学会発表

IMUセンサーを用いた歩行時の足部クリアランスの測定

北川巨樹, 荻原直道

第37回バイオメカニズム学術講演会、富山県富山市、2016年11月

(2)(1) 以外で当事業において作成したもの  
なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 慶應義塾大学工学部学部 荻原研究室（ケイオウギジユクダイガク  
リコウガクブ オギハラケンキュウシツ）

住 所： 〒223-8522

神奈川県横浜市港北区日吉

申 請 者： 教授 荻原直道（キョウジュ オギハラナオミチ）

担 当 部 署： 機械工学科（キカイコウガクカ）

E-mail： ogihara@mech.keio.ac.jp

U R L： [www.ogihara.mech.keio.ac.jp](http://www.ogihara.mech.keio.ac.jp)